

УДК 621.313:333

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЕНСОВАНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ MATLAB SIMULINK

Р. М. Чуєнко, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: chuenko@nubip.edu.ua

Анотація. Асинхронний електродвигун із короткозамкненим ротором є найпоширенішим засобом перетворення електричної енергії в механічну в електроприводі робочих машин у промисловості та сільському господарстві.

Сучасні способи підвищення енергетичної ефективності асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором спрямовані на пошук за допомогою комп'ютерних технологій оптимальних рішень у процесах їх проектування, виробництва та експлуатації з використанням у машинах нових високоефективних матеріалів. Такі способи не змінюють фізичні процеси, що протікають в асинхронному двигуні, тобто є пасивними. Проте незважаючи на численні удосконалення та наукові досягнення, техніко-економічні показники асинхронних двигунів досі не задовольняють сучасних вимог енергетики.

Необхідним є використання способів підвищення енергоефективності асинхронних електродвигунів зі збереженням їх простоти та надійності. Пропонується використовувати внутрішню ємнісну компенсацію реактивної потужності асинхронних двигунів.

Мета дослідження – розробити математичну модель асинхронного двигуна із внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності у програмному середовищі MathLab Simulink для розрахунку робочих та механічних характеристик.

Розроблено математичну модель асинхронного двигуна із внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності в програмному середовищі MathLab Simulink із використанням теорії електричних кіл. Розроблена математична модель дозволяє досліджувати робочі та механічні характеристики асинхронного двигуна із внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності. Проведені чисельні дослідження характеристик асинхронного двигуна із внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності та проведено їх порівняння із відповідними характеристиками базового асинхронного двигуна.

Ключові слова: асинхронний двигун, компенсація реактивної потужності, моделювання двигуна, механічна, робочі характеристики

Актуальність. Відповідно до принципу дії асинхронного двигуна (АД) головним його недоліком є одночасне споживання з мережі двох видів електричної енергії – активної при перетворенні її в механічну для приводу в рух виконавчих

механізмів на валу ротора і неминучих при цьому теплових втрат, та реактивної для створення електромагнітного обертового магнітного поля [1]. При цьому реактивна енергія не перетворюється в інші види, але необхідна машині в процесі електромеханічного перетворення активної енергії. Своїм реактивним струмом обміну реактивної енергією між джерелом електроенергії (генераторами електростанцій) і струмоприймачем (у даному випадку двигуном) вона збільшує загальний струм електричної системи, втрати енергії і напруги у всіх елементах її, включаючи і струмоприймач (двигун), вимагаючи підвищення його габаритів і маси, а також витрати матеріалів. За специфічної конструкції магнітопроводу з немагнітним повітряним зазором між феромагнітним осердям статора і ротора асинхронний двигун є одним із найбільших струмоприймачів реактивної потужності, що обумовлює його досить низькі коефіцієнт корисної дії (ККД) та коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З літератури відомі різні підходи до вирішення проблеми підвищення енергоефективності асинхронних електродвигунів. Зокрема, створюються асинхронні електродвигуни, енергетичні показники яких підвищуються за рахунок збільшення масо-габаритних параметрів та покращання якості активних матеріалів [2]. Заслуговує на увагу досвід підвищення енергетичних характеристик асинхронних двигунів за рахунок використання обмотки статора спеціальної конструкції з підключенням конденсаторів електричної ємності [3]. Проте для цих двигунів характерними є відносно велика витрата активних матеріалів на одиницю корисної потужності та знижені техніко-економічні показники, крім того за рахунок ускладнення технологічного процесу виготовлення обмоток цих двигунів суттєво збільшується їх вартість.

Виходячи з вищенаведеного, актуальним є використання способів підвищення енергоефективності асинхронних електродвигунів зі збереженням їх простоти та надійності. Зокрема, до використання запропоновані АД із внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності (ВЄКРП) [4]. Для дослідження явищ в АД із ВЄКРП та розрахунку їх характеристик у перехідних та усталених, нормальних і

анормальних режимах роботи розроблена математична модель на основі теорії електричних кіл [5].

Мета дослідження – розробити математичну модель АД із ВСКРП у програмному середовищі MathLab Simulink для розрахунку робочих та механічних характеристик.

Матеріали та методи дослідження. Зважаючи на складність вирішення рівнянь поля та велику кількість припущень, більш успішно електричні машини моделюються за допомогою рівнянь, складених на основі теорії кіл. За допомогою цього методу з достатньою точністю для наукових досліджень здійснюється аналіз усталених та перехідних процесів АД. Реалізація цього методу в математичному середовищі MATLAB Simulink значно спростила як саме моделювання АД, так і візуалізацію отриманих результатів. Моделювання режимів роботи двигунів у сучасних спеціалізованих пакетах прикладних програм є важливим науковим завданням, особливо при модернізації та виготовленні нових серій АД. Результати моделювання дозволяють здійснити аналіз роботи двигунів при зміні їх параметрів та режимів роботи без виготовлення дорогих фізичних моделей.

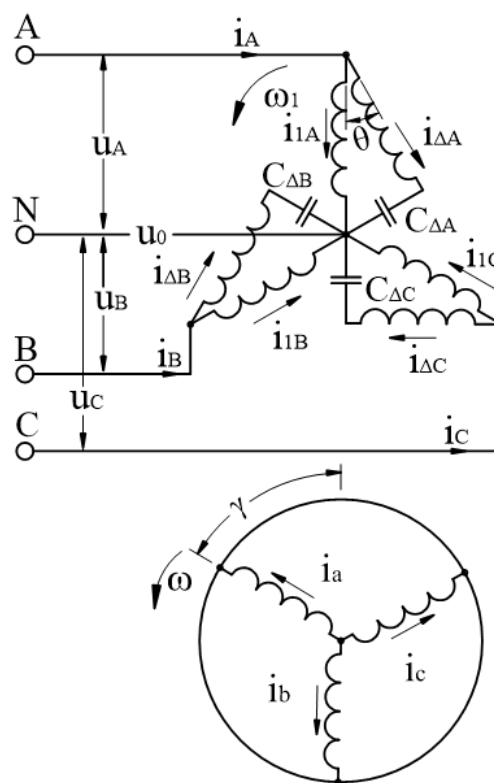


Рис. 1. Принципова електрична схема математичної моделі КАД

В програмі MATLAB існує стандартна бібліотека елементів SimPowerSystems. Одним з таких елементів є вбудована у програму модель АД. Але, зважаючи на особливості конструкції КАД [6], зокрема на просторовий зсув між його півобмотками та наявність електричної ємності (рис. 1), дослідження такого двигуна за допомогою стандартного елементу є неможливим.

Завданням цієї роботи є інтеграція рівнянь електричної рівноваги АД із ВСКРП у математичне середовище MATLAB Simulink, що дозволить моделювати процеси перетворення енергії у двигуні з врахуванням особливостей його будови, та здійснювати порівняльний аналіз характеристик серійного двигуна та АД із ВСКРП, виготовленого на його основі.

Результати досліджень та їх обговорення. Розрахункові рівняння електричної рівноваги основних обмоток фаз статора КАД відповідно до схеми (рис. 1) мають вигляд:

$$\begin{aligned} u_A &= i_{1A}r_1 + L_S \frac{di_{1A}}{dt} + M \frac{di'_{\Delta A}}{dt} + M \frac{di'_a}{dt}, \\ u_B &= i_{1B}r_1 + L_S \frac{di_{1B}}{dt} + M \frac{di'_{\Delta B}}{dt} + M \frac{di'_b}{dt}, \\ u_C &= i_{1C}r_1 + L_S \frac{di_{1C}}{dt} + M \frac{di'_{\Delta C}}{dt} + M \frac{di'_c}{dt}, \end{aligned} \quad (1)$$

де $u_{A(B,C)}$ – напруги зовнішнього джерела відповідно у фазах А, В та С; $i_1 r_1$ – падіння напруги на активному опорі r_1 в основних півобмотках фаз; $L_S = L_1 + M$, де L_1 – індуктивність розсіювання основної обмотки фази статора; $M = \frac{3}{2} M_\phi$ – повна головна індуктивність і рівна їй взаємна індуктивність кожної обмотки m -фазної системи (при $m=3$) струмів; M_ϕ – головна власна індуктивність обмотки, а також рівна їй взаємна індуктивність із іншими обмотками у випадку збігання їхніх осей; $i'_{\Delta A,B,C}$ – струми фаз А, В, С додаткових обмоток фаз статора приведені до основних обмоток тих же фаз; $i'_{a,b,c}$ – струми обмоток ротора приведені до осі основної обмотки фази статора.

У загальному випадку ці струми записуються як:

$$\begin{aligned} i'_{\Delta A, B, C} &= i_{\Delta A, B, C} \cdot \Pi^{-1}(\theta); \\ i'_{a, b, c} &= i_{a, b, c} \cdot \Pi(\gamma), \end{aligned} \quad (2)$$

де

$$\Pi(\gamma) = \frac{2}{3} \begin{vmatrix} \cos \gamma & \cos(\gamma + \rho) & \cos(\gamma - \rho) \\ \cos(\gamma - \rho) & \cos \gamma & \cos(\gamma + \rho) \\ \cos(\gamma + \rho) & \cos(\gamma - \rho) & \cos \gamma \end{vmatrix} \quad (3)$$

– трифазна матриця перетворення за кутом γ для струму ротора при приведенні його до осі основної обмотки статора, $\gamma = \int_t \omega dt$ – кут повороту обертового ротора, за схемою рис. 1 $\gamma > 0$;

$$\Pi^{-1}(\theta) = \frac{2}{3} \begin{vmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \rho) & \cos(\theta + \rho) \\ \cos(\theta + \rho) & \cos \theta & \cos(\theta - \rho) \\ \cos(\theta - \rho) & \cos(\theta + \rho) & \cos \theta \end{vmatrix} \quad (4)$$

– транспонована матриця перетворення за кутом θ для струму додаткової обмотки при приведенні його до основної обмотки статора (у матрицях (3,4) верхній рядок належить фазі А, другий – В, а третій – С). Кут θ – це кут між основною та додатковою обмоткою статора. За схемою (рис. 1) просторовий кут $\theta < 0$. За дією в часі обертового магнітного поля на обмотки ЕРС $\dot{E}_\Delta$ додаткової обмотки двигуна випереджає на кут $\theta > 0$ ЕРС $\dot{E}_1$ основної обмотки. Тому надалі знак кута θ приймається за векторною діаграмою дії обертового магнітного поля для КАД $\theta > 0$.

Для програмування в MATLAB Simulink використовуємо рівняння, записаних у вигляді блоків математичних функцій. Наприклад, запис рівняння електричної рівноваги фази А основної півобмотки статора показаний на рис. 2.

Рівняння електричної рівноваги контурів фаз додаткової півобмотки сатора та джерела живлення:

$$\begin{aligned}
 u'_A &= i'_{\Delta A} r_1 + L_s \frac{di'_{\Delta A}}{dt} + M \frac{di_{1A}}{dt} + M \frac{di'_a}{dt} + \frac{1}{C_{\Delta}} \int i'_{\Delta A} dt, \\
 u'_B &= i'_{\Delta B} r_1 + L_s \frac{di'_{\Delta B}}{dt} + M \frac{di_{1B}}{dt} + M \frac{di'_b}{dt} + \frac{1}{C_{\Delta}} \int i'_{\Delta B} dt, \\
 u'_C &= i'_{\Delta C} r_1 + L_s \frac{di'_{\Delta C}}{dt} + M \frac{di_{1C}}{dt} + M \frac{di'_c}{dt} + \frac{1}{C_{\Delta}} \int i'_{\Delta C} dt,
 \end{aligned} \tag{5}$$

де r_{Δ} – активний опір додаткової півобмотки $r_{\Delta} = r_1 = 2R_1$ [1, 2], причому R_1 – це опір базового АД [5]; C_{Δ} – ємність, послідовно з'єднана з додатковою півобмоткою.

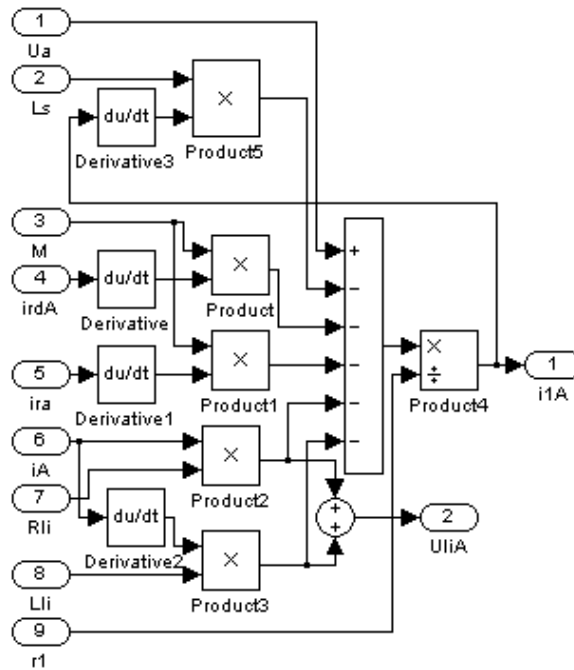


Рис.2. Приклад запису рівняння електричної рівноваги фази А основної півобмотки статора у програмі MATLAB Simulink

Повний струм КАД визначається як сума струмів у півобмотках:

$$\begin{aligned}
 i_A &= i_{1A} + i_{\Delta A}, \\
 i_B &= i_{1B} + i_{\Delta B}, \\
 i_C &= i_{1C} + i_{\Delta C}.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Рівняння електричної рівноваги фаз нерухомого короткозамкненого ротора еквівалентного обертовому, за умов симетричного навантаження, запишемо у вигляді:

$$\begin{aligned} 0 &= i'_a r_2 + L_p \frac{di'_a}{dt} + M \frac{d(i_{1A} + i'_{\Delta A})}{dt} + \frac{\omega}{\sqrt{3}} [L_p (i'_b - i'_c) + M(i_{1B} - i_{1C}) + M(i'_{\Delta B} - i'_{\Delta C})], \\ 0 &= i'_b r_2 + L_p \frac{di'_b}{dt} + M \frac{d(i_{1B} + i'_{\Delta B})}{dt} + \frac{\omega}{\sqrt{3}} [L_p (i'_c - i'_a) + M(i_{1C} - i_{1A}) + M(i'_{\Delta C} - i'_{\Delta A})], \\ 0 &= i'_c r_2 + L_p \frac{di'_c}{dt} + M \frac{d(i_{1C} + i'_{\Delta C})}{dt} + \frac{\omega}{\sqrt{3}} [L_p (i'_a - i'_b) + M(i_{1A} - i_{1B}) + M(i'_{\Delta A} - i'_{\Delta B})] \end{aligned} \quad (7)$$

де $L_p = L_2 + M$ – повна індуктивність фази ротора у m -фазній системі, L_2 – її індуктивність розсіювання; ω – швидкість обертання ротора, рад/с.

Для розрахунку динамічних електромеханічних процесів асинхронної машини необхідно до системи рівнянь електричної рівноваги її кіл додати рівняння руху привода з розрахунком електромагнітного моменту машини:

$$M_e = M_c + J \frac{d\omega}{dt}, \quad (8)$$

де M_c – момент статичного навантаження на валу ротора; J – момент інерції привода; p – число пар полюсів машини; $J \frac{d\omega}{dt} = M_d$ – динамічний момент, що визначає інерційність системи в перехідних електромеханічних процесах.

Електромагнітний момент АД із ВСКРП залежно від дії струмів у часі дорівнює:

$$M_e = -\frac{pM}{\sqrt{3}} [(i_{1A} + i'_{\Delta A})(i'_b - i'_c) + (i_{1B} + i'_{\Delta B})(i'_c - i'_a) + (i_{1C} + i'_{\Delta C})(i'_a - i'_b)] \quad (9)$$

Рівняння (1-9) є основою Simulink-моделі. Їх розв'язок дозволяє отримати струми двигуна в кожній з його фаз та півобмоток, електромагнітний момент двигуна в будь-якій точці його механічної характеристики при заданих значеннях напруги та моменту на валу. Роботу АД із ВСКРП під навантаженням оцінюємо за робочими характеристиками. Для їх побудови необхідно знайти швидкість обертання ротора n , споживану потужність P_2 , потужність P_2 та момент M_2 на валу двигуна, ККД і коефіцієнт потужності $\cos\phi$. Розрахунок частоти обертання

$$n = \frac{60}{2\pi} \omega, \text{ де з (8) } \omega = \int \frac{(M_e - M_c)}{J}; \text{ ККД } \eta = \frac{P_2}{P_1} \text{ у програмі Simulink можна}$$

провести за емпіричним формулами.

Нескладним розрахункам піддаються також корисні потужність та момент двигуна, відповідно $P_2 = P_{mx} + p_{mx} + p_{m2} + p_\phi$ та $M_2 = M_e \cdot \frac{P_{mx} + p_\phi}{\omega}$, де P_{mx} – механічна потужність двигуна $P_{mx} = M_e \omega$, частина якої втрачається всередині самого двигуна у вигляді механічних втрат p_{mx} (на вентиляцію, на тертя в підшипниках), магнітних втрат в осерді ротора p_{m2} та додаткових втрат p_ϕ . Механічні втрати p_{mx} залежать від конкретного двигуна, виду його вентиляції, кількості пар полюсів та діаметра осердя статора. Магнітні втрати p_{m2} в осерді ротора при нормальних робочих режимах зазвичай дуже малі, і окремо не враховуються [5]. Додаткові втрати за ГОСТ 183-66 приймаються рівними 0,5% від підведеної потужності при номінальному навантаженні, а при інших навантаженнях їх перераховують пропорційно квадрату первинного струму.

Визначення споживаної КАД активної потужності $P_1 = S_1 \cdot \cos(\varphi)$ проводиться за допомогою вбудованого в Simulink блоку *RMS*, оскільки $S_1 = 3U \cdot I$, де U, I – діючі значення трифазних відповідно напруги та струму. Блок *RMS* використовуємо для визначення діючих значень синусоїдальних величин з їх миттєвих значень [6].

Оскільки напруги та струми представлені миттєвими значеннями $\frac{du}{dt}$ та $\frac{di}{dt}$, то деякий інтерес представляє визначення коефіцієнту потужності $\cos\varphi$ при Simulink моделюванні. Ідея полягає у визначенні фази напруги та струму за допомогою формул Ейлера-Фур'є [7]. Оскільки напруга та струм є функціями часу на відріжку $[0, T]$ з періодом $T=1/f_1$, де f_1 – частота першої гармоніки, ці функції можна розкласти в ряд Фур'є:

$$u(t) \approx \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n (a_k \cos(2\pi k f_1 t) + b_k \sin(2\pi k f_1 t)) \quad (10)$$

де, коефіцієнти a_k і b_k , які виглядають так:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \cdot \cos(2\pi k f_1 t) dt, \quad b_k = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \cdot \sin(2\pi k f_1 t) dt, \quad (11)$$

Тоді фаза k -ї гармоніки визначається за формулою:

$$\varphi_k = -\arctan(b_k / a_k), \quad (12)$$

Виконавши математичні перетворення над (11, 13), знаходимо фазу першої гармоніки напруги та струму :

$$\varphi_u = \arctg \left(\frac{\int_0^T u(t) \cdot \cos(2\pi k f_1 t) dt}{\int_0^T u(t) \cdot \sin(2\pi k f_1 t) dt} \right), \quad \varphi_i = \arctg \left(\frac{\int_0^T i(t) \cdot \cos(2\pi k f_1 t) dt}{\int_0^T i(t) \cdot \sin(2\pi k f_1 t) dt} \right) \quad (13)$$

Реалізацію формул (13) в Simulink представлено на рис. 3.

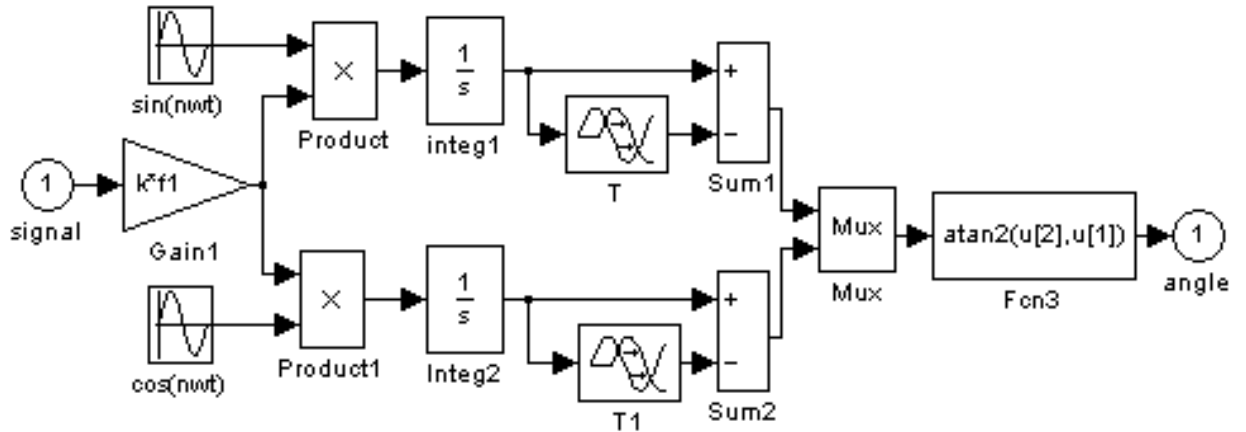


Рис. 3. Організація блоку для визначення кута напруги, струму

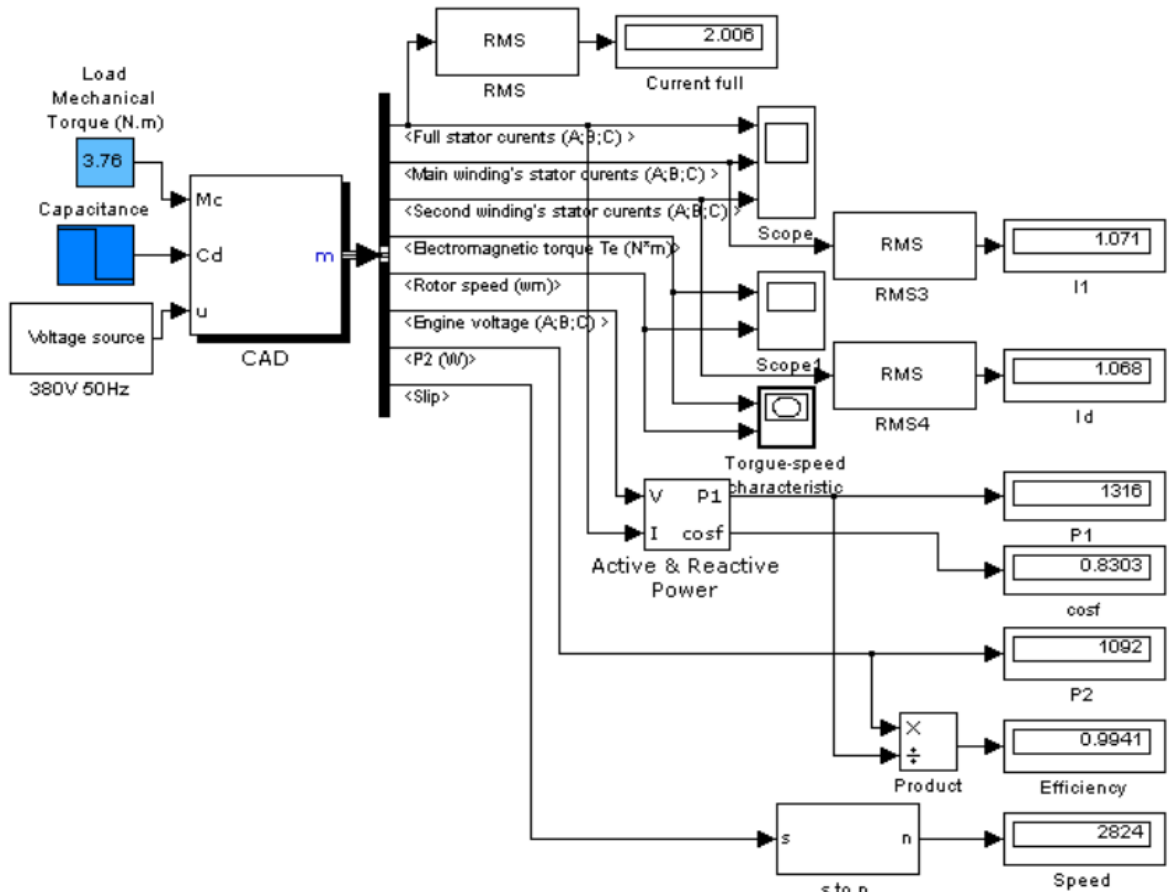


Рис. 4. Simulink модель АД із ВСКРП

У програмі MATLAB Simulink цей алгоритм реалізований за допомогою блока *Fourier*, у налаштуваннях якого необхідно вказати частоту та порядковий номер гармоніки, кут якої визначається. Різниця між блоком *Fourier* та формулами (13, 14) полягає в тому, що у блоці *Fourier* кут визначається в градусах, тому при моделюванні із стандартними блоками в подальшому є необхідність переведення визначених кутів у радіани.

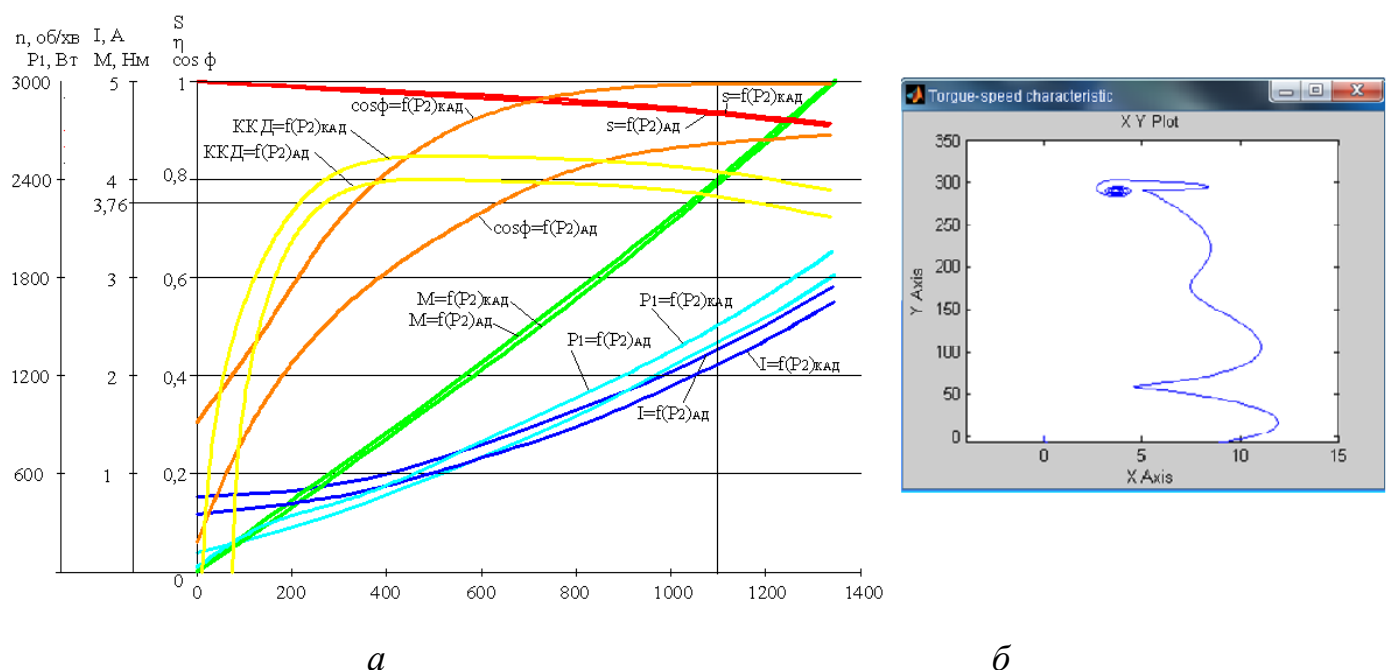
Власне, коефіцієнт потужності $\cos\varphi$ визначаємо як:

$$\cos(\varphi) = \cos(\varphi_u - \varphi_i) \quad (14)$$

Вигляд Simulink моделі АД із ВСКРП, з результатами розрахунку для двигуна на базі 4A71B2 показаний на рис. 4.

Висновки і перспективи.

1. Розроблена математична модель АД із ВСКРП у середовищі MathLab Simulink, яка дає можливість визначати його механічні характеристики $s=f(M_2)$ та оцінювати пускові режими. Числове моделювання дозволяє виконати аналіз роботи АД із ВСКРП за змінного характеру навантаження на основі робочих характеристик, а саме залежностей $M_2, I, n, \eta, \cos\varphi, P_1=f(P_2)$ (рис. 5).



**Рис. 5. Робочі характеристики АД 4A71B2 та АД із ВСКРП на його базі (а)
та механічна характеристика АД із ВСКРП (б)**

2. Виконаний порівняльний аналіз на основі одержаних робочих характеристик показав підвищення коефіцієнта корисної дії АД із ВСКРП на 5-10 % та коефіцієнта потужності на 15-20 % порівняно із серійним асинхронним двигуном, залежно від їх навантаження, із одночасним зменшенням струму, споживаного з мережі живлення, на 5-12 %.

Список використаних джерел

1. Вольдек А. И. Электрические машины. Л.: Энергия, 1978. 832 с.
2. Лущик В.Д. Перспективні напрямки удосконалення електричних машин: монографія. ПрАТ «Миронівська друкарня», 2015. 264 с.
3. Трехфазный асинхронный электрический двигатель. Патент РФ МПК H02K17/28 / Беляев В.Ф., Ташкинов А.А., Цылев П.Н. №2478249; заявл. 16.09.2011; опубл. 27.03.2013.
4. Effect of Internal Capacitive Compensation for Reactive Power in Induction Motor. V.I. Mishin, R.N. Chuenko, and V.V. Gavrilyuk. ISSN 1068, Russian Electrical Engineering. 2009, Vol. 80, No. 8, pp. 444–449, Allerton Press, Inc., 2009.
5. Проектирование электрических машин: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. И.П. Копылова. – М.: Энергия, 1980. – 496 с.
6. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
7. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 784 с.

References

1. Voldek, A. I. (1978). Elektricheskie mashiny [Electrical machines]. Leningrad, 832.
2. Lushchik, V.D. (2015)/ Perspektivny napryamki udoskonalennya elektrichnykh mashin: monografiya [Perspective directions of improvement of electric machines]. PrAT «Mironivska drukarnya», 264.
3. Belyaev, B. F., Tashkinov, A. A., Cilyev, P. N. (2013). Tree phase induction motor. Patent of Russian Federation H02K17/28 №247249; declared 16.09.2011; published 27.03.2013.
4. Mishin, V. I., Chuenko, R. N., Gavrilyuk, V. V. (2009). Effect of Internal Capacitive Compensation for Reactive Power in Induction Motor. Russian Electrical Engineering, 80 (8), 444–449.
5. Kopilov, I. P. (1980). Proektirivanie elektricheskikh mashin [Design of electrical machines]. Moscow: Energiya, 496.
6. Chernih, I. V. (2008). Modelirovanie elektrotehnicheskikh ustroystv v MATLAB SimPowerSystems s Simulink [Modeling of electrical devices in MATLAB, SimPowerSystems and Simulink]. Moscow: DMK Press, 288.
7. Dyakonov, V. P. (2008). Simulink 5/6/7. Samouchitel [Simulink 5/6/7.Self-taught]. Moscow: DMK Press, 784.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЕНСИРОВАННОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

Р.Н. Чуенко

Аннотация. *Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором является наиболее распространенным средством преобразования электрической энергии в механическую в электроприводе рабочих машин в промышленности и сельском хозяйстве.*

Современные способы повышения энергетической эффективности асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором направлены на поиск с помощью компьютерных технологий оптимальных решений в процессах их проектирования, производства и эксплуатации с использованием в машинах новых высокоэффективных материалов. Такие способы не меняют физические процессы, протекающие в асинхронном двигателе, то есть являются пассивными. Однако, несмотря на многочисленные усовершенствования и научные достижения технико-экономические показатели асинхронных двигателей до сих пор не удовлетворяют современным требованиям энергетики.

Необходимо использование способов повышения энергоэффективности асинхронных электродвигателей с сохранением их простоты и надежности. Предлагается использовать внутреннюю емкостную компенсацию реактивной мощности асинхронных двигателей.

Цель исследования - разработать математическую модель асинхронного двигателя с внутренней емкостной компенсацией реактивной мощности в программной среде MathLab Simulink для расчета рабочих и механических характеристик.

Разработана математическая модель асинхронного двигателя с внутренней емкостной компенсацией реактивной мощности в программной среде MathLab Simulink с использованием теории электрических цепей. Разработанная математическая модель позволяет исследовать рабочие и механические характеристики асинхронного двигателя с внутренней емкостной компенсацией реактивной мощности. Проведены вычислительные исследования характеристик асинхронного двигателя с внутренней емкостной компенсацией реактивной мощности и их сравнение с соответствующими характеристиками базового асинхронного двигателя.

Ключевые слова: *асинхронный двигатель, компенсация реактивной мощности, моделирование двигателя, механическая, рабочая характеристики*

FEATURES OF CALCULATION OF CHARACTERISTICS OF THE COMPENSATED INDUCTION MOTOR IN THE MATLAB SIMULINK SOFTWARE ENVIRONMENT

R. Chuienko

Abstract. *An asynchronous electric motor with a short-circuited rotor is the most common means of converting electrical energy into mechanical energy in the electric drive of working machines in industry and agriculture.*

Modern methods of increasing the energy efficiency of induction motors with short-circuited rotor are aimed at finding with the help of computer technology the optimal solutions in the processes of their design, production and operation using new high-performance materials in machines. Such methods do not change the physical processes occurring in the induction motor, ie are passive. However, despite numerous improvements and scientific achievements, technical and economic indicators of induction motors still do not meet modern energy requirements.

It is necessary to use ways to increase the energy efficiency of induction motors while maintaining their simplicity and reliability. It is proposed to use internal capacitive compensation of reactive power of induction motors.

The aim of the research is to develop a mathematical model of an induction motor with internal capacitive reactive power compensation in the MathLab Simulink software environment for the calculation of operating and mechanical characteristics.

A mathematical model of an induction motor with internal capacitive reactive power compensation in the MathLab Simulink software environment using the theory of electric circuits has been developed. The developed mathematical model allows to study the working and mechanical characteristics of an induction motor with internal capacitive compensation of reactive power. Numerical researches of characteristics of the induction motor with internal capacitive compensation of reactive power are carried out and their comparison with corresponding characteristics of the basic induction motor is carried out.

Key words: *induction motor, reactive power compensation, motor modeling, mechanical, working characteristics*